



中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

热力过程自动化

(第二版)

电厂热力设备运行专业

文群英 黄桂梅 合编
潘汪杰 苗 军



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>



中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

热力过程自动化

(第二版)

电厂热力设备运行专业

文群英	黄桂梅	合 编
潘汪杰	苗 军	
孙保民		责任主审
张建华	李平康	审 稿



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书共十三单元(教学模块),介绍了热工测量的基本知识,温度、压力、流量、水位及其他参数的测量仪表的测量方法及使用方法,火电厂自动化基础知识及自动调节的基本概念,计算机控制基础知识,火电厂计算机控制系统的构成特点,CCS、DEH、BMS、TSI、ETS、SCS等系统的构成及工作原理和使用方法。书中内容以典型的300MW、600MW机组为主线,充分体现了热力过程自动化中的新知识、新工艺、新技术、新方法。本书注重以能力为本,体现课程体系之长,灵活实用,符合教学规律。

本书为教育部规划的中等职业教育电力类重点建设专业“电厂热力设备运行”的主干专业课程教材,也可作为电厂集控运行、电厂热力设备检修等相近专业“热力过程自动化”及同类课程的教材或教学参考书,还可作为热力发电厂有关生产人员的职业技能培训教材,也可供有关工程技术人员学习与参考。

图书在版编目(CIP)数据

热力过程自动化/文群英等编. —2版. —北京:中国电力出版社,2007

中等职业教育国家规划教材

ISBN 978 - 7 - 5083 - 5183 - 4

I. 热... II. 文... III. 火电厂 - 热力系统 - 自动控制 - 中等教育: 技术教育 - 教材 IV. TM621.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第006340号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2002年1月第一版

2007年2月第二版 2008年5月北京第十一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 18.5印张 450千字

定价 24.50元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

电力中等职业教育国家规划教材

编 委 会

主 任 张成杰

副主任 杨昌元 宗 健 朱良镭

秘书长 尚锦山 马家斌

委 员 丁 雁 王玉清 王宝贵 李志丽 杨卫民

杨元峰 何定焕 宋文复 林 东 欧晓东

胡亚东 柏吉宽 侯林军 袁建文 涂建华

梁宏蕴

中等职业教育国家规划教材

出版说明

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神，落实《面向 21 世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划，根据教育部关于《中等职业教育国家规划教材申报、立项及管理意见》（教职成〔2001〕1 号）的精神，我们组织力量对实现中等职业教育培养目标和保证基本教学规格起保障作用的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写，从 2001 年秋季开学起，国家规划教材将陆续提供给各类中等职业学校选用。

国家规划教材是根据教育部最新颁布的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教学大纲（课程教学基本要求）编写，并经全国中等职业教育教材审定委员会审定。新教材全面贯彻素质教育思想，从社会发展对高素质劳动者和中初级专门人才需要的实际出发，注重对学生的创新精神和实践能力的培养。新教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均作了一些新的尝试。新教材实行一纲多本，努力为教材选用提供比较和选择，满足不同学制、不同专业和不同办学条件的教学需要。

希望各地、各部门积极推广和选用国家规划教材，并在使用过程中，注意总结经验，及时提出修改意见和建议，使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司

二〇〇一年十月

前 言

“热力过程自动化”是教育部 80 个重点建设专业的主干课程之一，是根据教育部最新颁布的中等职业学校电厂热力设备及运行专业“热力过程自动化”课程教学大纲编写的。

本书按照教育部面向 21 世纪职业教育课程改革和教材建设规划的原则，在编写中力求贯彻以能力为本位的思想。本书按热工测量的基本知识、温度测量仪表、压力测量仪表、流量测量仪表、水位测量仪表、其他参数测量仪表、自动控制基础知识、计算机控制基础、火电厂计算机控制系统、协调控制系统（CCS）、汽轮机数字电液控制系统（DEH）、安全监测保护系统（BMS、TSI、ETS）、顺序控制系统（SCS），构成 13 个主要教学单元，重点介绍热工测量的基本知识、主要参数测量仪表的测量原理及使用方法，自动控制系统的基本原理、基本概念、基本组成、基本功能及使用方法等。全书的教学过程要注重理论与实践相结合，充分利用实验教学、MATLAB 仿真软件及仿真机等相应培训装置，培养学生的电厂设备管理、运行安全及保护意识，使学生掌握热工测量的基本技能，具备自动控制系统装置的识别能力、系统功能的使用能力。本书内容来自国内 300MW 及 600MW 火力发电厂典型机组，旨在反映 21 世纪最先进的成熟技术；选取的技术内容来源于电厂实际，以加强实践环节。

本书第二版由武汉电力职业技术学院文群英、潘汪杰，江西电力职业技术学院苗军，保定电力职业技术学院黄桂梅合编，文群英编写了绪论、单元二、单元九、单元十、单元十一，黄桂梅编写了单元一、单元三、单元四、单元七，其他单元在该书第一版苗军老师编写的基础上，由潘汪杰改编单元五、单元六、单元十二，文群英改编单元八，黄桂梅改编单元十三。文群英负责全书的统稿工作。

本书在编写过程中，得到了各兄弟院校及有关单位的支持与帮助，谨表感谢。

本书可作为中等职业学校（普通中专、成人中专、技工学校、职业高中）教材，也可作为职工培训用书或供电厂运行人员参考用书。

由于编者水平有限，书中难免有疏漏及不足之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

2007 年 2 月

第一版前言

热力过程自动化是中等职业学校“电厂热力设备运行”专业（三年制）的一门主干课程，是根据教育部面向 21 世纪职业教育课程改革和教材建设规划的要求，以及中国电力企业联合会动力类专业研究会组织审定通过的教学大纲为依据进行编写的。

本书按照教育部面向 21 世纪职业教育课程改革和教材建设规划的原则，力求贯彻以能力为本位的思想。本书共分为 15 个单元，按火力发电厂自动化基础知识及自动调节概念，热工保护基本知识，热工测量仪表的基本知识，温度测量仪表，压力测量仪表，流量测量仪表，水位测量仪表，其他测量仪表，计算机控制基础，分散控制系统知识，DAS 系统，CCS 系统，SCS 系统，BMS 系统，DEH 系统，构成 15 个主要教学单元。重点介绍自动控制系统的原理知识、基本概念、系统组成、系统功能及使用方法，以及热工测量及热工保护的基本知识、测量方法等。注重理论与实践相结合，利用实验教学及仿真机等相应的培训装置，针对现代大型火力发电厂建立电厂设备管理、运行的安全保护意识。掌握热工计量的基本知识，以及自动控制系统装置的识别能力、系统功能的使用能力。本书内容来自国内 300MW 及 600MW 火力发电厂典型机组，旨在反映 20 世纪 90 年代最先进的成熟技术。热工测量仪表、二次表均以数字表为主，自动控制系统以国内普遍采用的 WDPF 及 INF1-90 为典型案例，重点突出火力发电厂岗位目标的实现。选取的技术内容来源于电厂实际，以加强实践环节。

本书由江西省电力学院苗军主编，并编写单元二、单元七、单元八、单元十一，单元十二、单元十三、单元十四；武汉电力学校文群英编写了单元四、单元九、单元十、单元十五；保定电力学校黄桂梅编写了单元一、单元三、单元五、单元六；全书由山东电力学校侯林军主审。

在编写过程中，得到了江西省电力公司、山东省电力公司、湖北省电力公司、河北省电力公司、东北电力公司等单位的支持和帮助，谨表感谢。

由于编写时间仓促，编者水平有限，书中难免有疏漏及不足之处，恳请广大读者不吝赐教，在此，谨表感谢。

编 者

2001 年 9 月

目 录

中等职业教育国家规划教材出版说明

前言

第一版前言

绪论 1

单元一 热工测量的基本知识 6

 课题一 热工测量概述 6

 课题二 测量误差及其处理 9

 课题三 仪表的主要质量指标及仪表的校验 11

 小结 14

 习题 14

单元二 温度测量仪表 15

 课题一 温度测量的基本知识 15

 课题二 热电偶 16

 课题三 热电阻 23

 课题四 温度显示仪表 25

 课题五 温度变送器 33

 小结 35

 习题 36

单元三 压力与压力测量 38

 课题一 压力测量概述 38

 课题二 液柱式压力计 39

 课题三 弹性式压力计 41

 课题四 压力表的选择与安装 44

 课题五 压力(或差压)变送器 46

 小结 53

 习题 54

单元四 流量测量及仪表 55

 课题一 流量测量概述 55

课题二 差压式流量计	57
课题三 其他流量计	65
小结	69
习题	70
单元五 水位测量仪表	72
课题一 就地式水位计	72
课题二 差压式水位计	75
课题三 电接点水位计	79
小结	83
习题	84
单元六 其他参数测量仪表	85
课题一 氧化锆氧量计	85
课题二 电子皮带秤	89
小结	92
习题	93
单元七 自动控制基本知识	94
课题一 自动控制的概述	94
课题二 典型环节的动态特性及环节连接方式	99
课题三 热工控制对象的动态特性	105
课题四 自动控制器的控制规律	107
课题五 单回路、多回路及其他控制系统	111
小结	114
习题	115
单元八 计算机控制基础	116
课题一 概述	116
课题二 过程通道	120
课题三 信号处理与控制算法	126
小结	127
习题	128
单元九 火电厂计算机控制系统	129
课题一 分散控制系统（DCS）	129
课题二 现场总线控制系统（FCS）	145
小结	153
习题	154

单元十 单元机组协调控制系统 (CCS)	155
课题一 协调控制系统的基本概念	155
课题二 单元机组主控制系统	162
课题三 给水控制系统	169
课题四 汽温控制系统	181
课题五 燃烧过程控制系统	191
课题六 直流锅炉自动控制系统	201
小结	208
习题	210
单元十一 汽轮机数字电液控制系统 (DEH)	212
课题一 系统概述	212
课题二 系统的工作方式	215
课题三 DEH 系统的速度和负荷控制原理	216
小结	224
习题	224
单元十二 安全监测保护系统	225
课题一 炉膛安全监控系统 (FSSS)	225
课题二 汽轮机监视仪表系统 (TSI)	246
课题三 汽轮机的危急遮断系统 (ETS)	261
小结	263
习题	264
单元十三 顺序控制系统 (SCS)	265
课题一 概述	265
课题二 顺序控制系统的实现	268
课题三 顺序控制系统应用举例	271
小结	277
习题	277
附录一 热电偶、热电阻分度表	278
附录二 SAMA 标准功能图例	281
参考文献	283

绪 论

一、概述

近半个世纪以来,特别是20世纪80年代以来,工业自动化领域发生了革命性的变化。首先是芯片技术的突破,促进了自动化技术由“模拟”向“数字”时代的飞跃;建立在网络信息技术基础上的分布式自动控制系统(Distributed Control System, DCS)为实现先进的工业自动化系统提供了强有力的硬件、软件平台。随着自动控制理论的发展,自动化技术由基于微分方程、传递函数的古典理论阶段进入基于状态空间法和最优化方法的现代理论阶段,进而,逐步发展到基于专家系统、模糊控制和人工神经网络的智能时代。在信息处理技术方面,数据高速传输、数据压缩存储、数据融合、数据挖掘等技术的发展,为实现基于信息集成的生产过程控制与管理现代化奠定了基础。

电力工业作为国民经济的基础性产业,有别于其他工业过程的主要特征是:电能的“发、输、供、用”必须同时进行,并保持瞬时的平衡。与此同时,参与“发、输、供、用”的所有设备构成了部件众多、结构复杂、分布广阔的动态大系统。在这个系统中,发电机组处于系统的最底层。

通常,人们把电力生产过程分为发电侧与输配电侧,相应地,从实现自动化的角度,可分为电站自动化和电力系统自动化。

改革开放以来,我国电力工业不断跨上新的台阶。1987年,全国发电装机容量突破1亿kW,1995年3月突破2亿kW。这期间,中国发电装机容量和发电量先后超过法国、英国、加拿大、德国、俄罗斯和日本,到1996年居世界第2位。截至2004年5月底,我国发电装机容量突破4亿kW大关,达到40060万kW,年发电量超过1.9万亿kWh。与此同时,提高发电机组的容量和参数也成为我国电力工业发展的重要方向:单机容量从建国初期的50MW,逐步发展到20世纪70、80年代的125~300MW,进而达到目前以600MW为主的水平,甚至达到1000MW;蒸汽参数也由8MPa/535℃提高到17MPa/540℃,并随着超临界和超超临界技术的推广应用,最终可达到28MPa/580℃以上。机组的大容量和高参数带来的是过程参数测量点的大量增加,相应的控制回路数和控制的复杂程度也大为提高,生产过程对控制精确度的要求更为严格。以一台600MW机组为例,其运行过程的监控点多达6000~7000个,各种控制回路有500~600个,用于控制系统组态的各种图纸就有几千张,这些艰巨而繁重的控制任务必须要有现代化的电站自动化技术作为支撑。

伴随着电力工业的发展,电站自动化技术的内涵和外延都已发生了巨大的变化。一方面,自动控制系统作为实现机组安全经济运行目标的有效手段,已从辅助运行人员监控机组运行发展到实现不同程度的设备启停功能、过程控制和连锁保护的综合体系,担负着机组主、辅机的参数控制、回路调节、连锁保护、顺序控制、参数显示、异常报警等功能,不但是提高机组运行水平的重要保证,也成为发电企业提高效率的重要手段。另一方面,借助计算机和网络技术的发展,电站生产过程的自动化程度达到了前所未有的高度,监控和管理信息系统的广泛应用为电站自动化的进一步发展提供了必要的物质基础。目前,通过应用各种

先进的信息获取和处理技术,同时结合自动化领域的一些新的理论和方法,电站自动化技术已经从传统的生产控制领域逐步渗透到了电站运行和管理的方方面面,包括对机组整体运行工况的监控、对发电过程经济性的分析、对主辅机设备的维护和管理,以及对生产过程的优化调度等。

二、大型火力发电机组的主要特点

大型火力发电机组的主要特点可归纳为以下几点:

(1) 监视点多(600MW 机组的 I/O 点多达 3000~5000 个,随着发电机—变压器组和厂用电等电气部分监视纳入 DCS 之后, I/O 点已超过 7000 个);

(2) 参数变化速度快和控制对象数量多(600MW 机组超过 1300 个);

(3) 各个控制对象特性时变、时滞、相互间关联耦合、环境强干扰;

(4) 由高度计算机化的单元机组集控取代传统的机、炉、电分别人工监控。自动化系统的功能也已从单台辅机和局部热力系统发展到整个单元机组的检测与控制。

(5) 随着整个单元机组自动化的不断完善以及电网发展的需要,火电厂热工自动化的功能必然会和调度自动化系统(Automatic Dispatch System, ADS)相协调而实现电网的自动发电控制(AGC)。

(6) 厂级实时监控信息系统(Supervisory Information System in Plant Level, SIS),是集过程实时监控、优化控制及生产过程管理为一体的厂级自动化信息系统,是实现机组安全经济运行的有效手段。

目前,传统的炉、机、电分别监控方式,已不能适应像 600MW 这样大型单元机组监控的要求。如果将大机组的监视与控制操作任务仅交给运行人员去完成,不仅体力和脑力劳动强度大,而且很难做到及时调整和避免人为的操作失误,因此必须由高度计算机化的机组集控取而代之。大量事实证明,自动化技术对于提高机组的安全经济运行水平是行之有效的,可以说,大型火电机组离开了高度的自动化,就不可能做到安全经济运行。

三、大型火力发电机组实现自动化功能的意义

大容量火电机组实现高度自动化,对于实现安全、稳定、经济运行具有重要意义:

(1) 在机组正常运行过程中,自动化系统能根据机组运行要求,自动将运行参数维持在要求值,以期取得较高的效率(如热效率)和较低的消耗(如煤耗、厂用电率等)。

(2) 在机组运行工况出现异常,如参数越限、辅机跳闸时,自动化设备除及时报警外,还能迅速、及时地按预定的规律进行处理。这样,既能保证机组设备的安全,又能保证机组尽快恢复正常运行,减少机组的停运次数。例如, RUNBACK(快速减负荷)、RUN UP(迫升负荷), RUN DOWN(迫降负荷)、FAST CUT BACK(FCB, 负荷快速切回或称快速甩负荷)等。

(3) 当机组从运行异常发展到可能危及设备或人身安全时,自动化设备能适时采取果断措施进行处理,以保证设备及人身安全,如锅炉主燃料跳闸(Master Fuel Trip, MFT)、汽轮机监测系统(TSI)和汽轮机紧急跳闸系统(ETS)等。

(4) 在机组启停过程中,自动化设备又能根据机组启动时的热状态进行相应的控制,以避免机组产生不允许的热应力而影响机组的运行寿命,即延长机组的服役期,如汽轮机的计算机应力估算和寿命管理系统,汽轮机自启停系统(Turbine Automatic System, TAS)。

(5) 随着电网的发展,对自动发电控制(Automatic Generation Control, AGC)的要

求日趋严格。AGC 是现代电网控制中心的一项基本和重要的功能,是电网现代化管理的需要,也是电网商业化运营的需要。而要实现 AGC,单元机组必须有较高的自动化水平,单元机组协调控制系统必须能投入稳定运行。

随着机组容量的增大、参数的提高,对于机组安全经济运行的要求不断提高,火电厂的自动化水平也不断得到提高,从传统的机、炉、电分别人工监控发展到今天的单元机组集控,自动化系统的功能也已从单台辅机和局部热力系统发展到整个单元机组的检测与控制。而随着整个单元机组自动化的不断完善以及电网发展的需要,火电厂热工自动化的功能必然会和调度自动化系统(Automatic Dispatch System, ADS)相协调而实现电网的自动发电控制(AGC)。但必须指出的是,自动化系统毕竟只能按照人们预先制定的规律进行工作,而机组运行过程中的情况却是复杂、随机的。因此,自动化系统在一般情况下虽不需要人工干预,但在特定情况下却要求人工给以提示或协调。无人值班的火电厂或火电机组虽经尝试,却迄今未获成功,也就是说高度自动化的火电机组并非不需要人的干预,而是需要人的更高层次的干预。由此可见,自动化水平高的机组,要求运行人员也具有更高的技术水平。

四、大型火电机组现代自动化的主要内容

根据应用层次和范围的不同,将大型火电机组自动化所涵盖的主要内容大致分为七类。

(1) 数据采集与管理。包括对热力过程中温度、压力、流量、液位、成分等热工参数的测量;测量数据在不同系统之间的高速传输;生产过程实时/历史数据的高效存储;历史数据的快速检索;统计数据的报表打印;报警数据的采集、存储、分析与处理等。具有数据采集与管理功能的典型的系统主要有:数据采集系统、DCS 数据库、SIS 数据库、MIS 数据库等。

(2) 回路控制。以模拟量控制系统为主,主要对机组的一系列参数进行控制,如汽包水位、主蒸汽温度、再热蒸汽温度、主蒸汽压力、发电机功率、炉膛压力等。其中最典型的是单元机组的协调控制系统(Coordinated Control System, CCS)。它是在常规机炉局部控制系统的基础上发展起来的综合控制系统,其基本设计思想是:把锅炉和汽轮发电机组作为一个整体,采用分级、递阶的系统结构,把参数调节、逻辑控制和连锁保护等控制功能结合在一起,构成一种满足机组在额定工况、变工况及故障条件下控制功能的综合控制系统。其他比较重要的控制回路主要有:汽温控制系统、给水控制系统、炉膛压力控制系统、磨煤机控制系统、主蒸汽压力控制系统、汽轮发电机功率控制系统等。

(3) 顺序控制及连锁保护。顺序控制一般可分为时间定序式和过程定序式两类。前者是指按预定的时间顺序而触发控制作用的发生(如启动/停止、闭合/断开等);而后者则是依据生产过程进行的状态决定下一步控制作用是否发生。目前采用 DCS 或 PLC 构成大型火电机组的 SCS 系统,常用的顺序控制系统有:输煤系统控制、锅炉吹灰器控制、锅炉补给水处理系统控制、给水泵启停控制、风机启停控制、锅炉点火系统控制、煤粉制备系统控制、汽轮机自启停控制等。连锁保护是以顺序控制系统(Sequence Control System, SCS)为基础的一类重要的控制方式,指在重要运行参数超过限定值或相关设备运行条件不满足要求时,按照预先设定的程序,自动终止异常的生产过程和设备,同时投入相应的辅助装置,避免事故扩大和人员及设备的损伤。目前,电站最主要的两个连锁保护系统是:炉膛安全保护监控系统(Furnace Safeguard Supervisory System, FSSS)和汽轮机数字电液调节系统(Digital Electro-Hydraulic Control System, DEH)。

(4) 运行优化。运行优化是以节约能源和提高电站运行经济性为目的的一系列优化技术的总称,包括控制系统优化,机组启停优化,燃烧优化,设备运行方式优化,机组间的负荷优化调度等。其中,以电站节能为目标的优化技术可以分为工艺节能技术和控制节能技术。在合理的生产工艺和操作规程的基础上,通过对生产过程和运行方式的优化,使发电设备的能源消耗减少,称为工艺节能,如启停优化、运行方式优化、燃烧优化等;对工艺条件和运行方式已经确定的设备或流程,通过应用先进的控制策略,确保主要工艺参数的控制品质,从而提高系统的运行效率,称为控制节能,如控制系统优化等。

(5) 经济性分析。经济性分析主要通过性能计算和耗差分析两个途径来实现。性能计算通过与监控系统和管理系统相连,实时获取机组的主要运行参数,在线计算热耗率、锅炉效率、厂用电率、辅机单耗、高加投入率、汽泵投入率、发电煤耗、供电煤耗等经济参数。耗差分析在线监测包括锅炉、汽轮机、主要辅机在内的整个热力系统的相关参数,实时分析热力系统的热经济性,定量查找热耗偏高的部位和原因,准确地对热力设备和热力系统的技术改造、运行方式的调整、运行参数的设定提供指导。

(6) 状态监测和故障诊断。通过状态监测和故障诊断加强对各类设备或部件、尤其是不可直接观测或处于恶劣环境中的设备或部件进行检测和分析,判断系统的健康状况,指出故障隐患并对其发展趋势进行预测,协助相关人员查找故障部件及故障原因,并提供故障处理指导。状态监测和故障诊断可在一定程度上提高机组运行的安全性和可靠性,减少非计划停机。目前,电站中的状态监测和诊断主要分布在高速旋转的部件(如汽轮机转子)、高温承压部件(如蒸汽管道)以及一些重要辅机(如送、引风机和水泵)上。

(7) 设备管理。现代化的设备管理需要应用现代管理理念和管理技术,在准确掌握设备状态,保证设备的安全、可靠和经济性的基础上,科学地进行检修决策,合理安排检修项目、检修间隔和检修工期,有效降低检修成本,提高设备可用性。以状态检修为核心的设备管理体制是电站管、控一体化发展的一个重要体现。

五、大型火电机组现代自动化的主要系统

大型火电机组由于具有大容量、高参数的特点,因此要有相应的新的自动化系统与之相适应,这些新的自动化系统大致有以下几种:

(1) 厂级实时监控信息系统(Supervisory Information System in Plant Level, SIS)。SIS是发电厂的生产过程自动化和电力市场交易信息网络化的中间环节,是发电企业实现发电生产到市场交易的中间控制层,是实现生产过程控制 and 生产信息管理一体化的核心,是承上启下实现信息网络的控制枢纽。其主要功能有:实现全厂生产过程监控;实时处理全厂经济信息和成本核算;竞价上网处理系统;实现机组之间的经济负荷分配;机组运行经济评估及运行操作指导。

(2) 单元机组协调控制系统(Coordination Control System, CCS)。CCS是基于机、炉的动态特性,应用多变量控制理论形成若干不同形式的控制策略,在机、炉控制系统基础上组织的高一级机、炉主控系统。它是单元机组自动控制的核心内容。

(3) 汽轮机数字电液控制系统(Digital Electro Hydraulic System, DEH)。DEH是汽轮发电机组的重要组成部分,除完成汽轮机转速、功率及机前压力的控制外,还可实现机组启停过程及故障时的控制和保护。

(4) 锅炉炉膛安全监控系统(Furnace Safeguard Supervisory System, FSSS)或称燃烧

器管理系统 (Burner Management System, BMS)。FSSS 包括炉膛火焰监视, 炉膛压力监视, 炉膛吹扫, 自动点火, 燃烧器自动切换, 紧急情况下的主燃料跳闸等。

(5) 汽轮机监视仪表 (TSI) 和汽轮机紧急跳闸系统 (ETS)。

(6) 顺序控制系统 (Sequence Control System, SCS)。SCS 是按照生产过程工艺要求预先拟定的顺序, 有计划、有步骤、自动地对生产过程进行一系列操作的系统。顺序控制也称程序控制, 在发电厂中主要用于主机或辅机的自动启停程序控制以及辅助系统的程序控制。

(7) 数据采集系统 (Data Acquisition System, DAS)。DAS 又称为计算机监控系统, 其基本功能是对机组整个生产过程参数进行在线检测, 经处理运算后以 CRT 画面形式提供给运行人员。该系统可进行自动报警, 制表打印, 性能指标计算, 事件顺序记录, 历史数据存储以及操作指导等。

(8) 旁路控制系统 (Bypass Control System, BPS)。BPS 在机组启、停过程中协调机、炉的动作, 回收工质, 保护再热器等, 完备的旁路控制系统是充分发挥旁路系统功能的前提, 大型中间再热式机组一般都设置旁路系统。

(9) 汽轮机自启停系统 (TAS)。

(10) 辅助系统的计算机程控系统。

热工测量的基本知识

内 容 提 要

本单元讲述了测量及测量误差的基本概念，测量的一般方法，测量仪表的组成及种类，测量误差的种类、表示方法和误差的处理方法，以及评估测量仪表质量优劣的技术指标等内容。其中重点是测量误差的种类及表示方法，测量误差的处理方法及仪表的质量指标。

课题一 热 工 测 量 概 述

教学目的

了解热工测量的基本概念，理解测量方法的分类，理解热工测量仪表各组成部分的作用，了解热工测量仪表的分类。

教学内容

“测量技术”是研究测量原理、测量方法和测量工具的一门学科。人类在从事科学研究、工程技术以及其他一切生产活动时，为了取得各种事物之间的定量关系，就必须进行测量。测量是人们认识事物的本质所不可缺少的手段。

不同的科技和生产领域，有不同的测量项目和测量特点。热工测量是指在热工过程中对各种热工参数，如温度、压力、流量、物位等的测量（热力发电厂中，有时也把成分分析、转速、振动等列入其中）。

在热力发电厂中，通过热工测量可以及时地反映热力设备以及热力系统的运行工况，为运行人员提供操作的依据，并且为热工自动控制准确、及时地提供所需的信号。因此，热工测量是保证热力设备安全、经济运行及实现自动控制的必要手段。

一、测量的定义

所谓测量，就是利用测量工具，通过实验的方法将被测量与同性质的标准量（即测量单位）进行比较，以确定出被测量是标准量多少倍数的过程，所得到的倍数就是被测量的值，即

$$x = \frac{X}{b} \quad (1-1)$$

式中 X ——被测物理量；

b ——标准量（测量单位）；

x ——所得到的被测量的值，即得到的测量结果。

从式（1-1）中可知，被测量的值与所选用的测量单位有关。测量单位人为规定，并得

到国家或国际公认。在“国际单位制”诞生前，各国、各地区的测量单位各不相同，同类被测量比较时，必须进行单位换算，很不方便，且有些测量单位制订的科学性和严密性较差。随着科学技术的发展和国际科技、经济交往的加强，人们迫切要求制订统一的测量单位。1960年，第十一届国际计量大会通过了“国际单位制”，代号为SI，它对长度、质量、时间、电流和热力学温度等七种基本单位作了统一规定。其他的物理量单位，可以由这七种基本单位导出。实践证明，国际单位制具有科学、合理、精确、实用等优点，给生产建设和科技发展带来很大方便。我国于1984年2月27日，由国务院发布了《关于在我国统一实行法定计量单位的命令》。法定计量单位是以国际单位制为基础，结合我国实际情况增加了一些非国际单位制单位构成的。在热工测量中，应积极推广使用。

二、测量方法

测量是一种实验工作，为了及时获得准确可靠的数据，必须根据行业的要求及被测对象的特点，选择合理的测量方法。

根据获得测量结果的程序不同，测量可分为：

(1) 直接测量。就是将被测量直接与所选用的标准量进行比较，或者用预先标定好的测量仪表进行测量，从而直接得出测量值的方法，如用尺测长度，用玻璃管水位计测水位等。

(2) 间接测量。通过直接测量与被测量有确定函数关系的其他各个变量，然后将所得的数值代入函数式进行计算，从而求得被测量值的方法称为间接测量。例如，用平衡容器测量汽包水位；通过测量导线电阻、长度及直径求电阻率等。

(3) 组合测量。组合测量是在测量出几组具有一定函数关系的量值的基础上，通过解联立方程来求取被测量的方法。例如，在一定温度范围内铂电阻与温度的关系为

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2)$$

式中： R_0 为铂电阻在 0°C 时的电阻值； R_t 为铂电阻在 $t^\circ\text{C}$ 时的电阻值； A 和 B 为温度系数（常数）。

为了求出温度系数 A 、 B ，可以分别直接测出 0°C 、 $t_1^\circ\text{C}$ 、 $t_2^\circ\text{C}$ 三个不同温度值及相应温度下的电阻值 R_0 、 R_{t1} 、 R_{t2} ，然后通过解联立方程来求得 A 、 B 的数值。

根据检测装置动作原理不同，测量可分为：

(1) 直读法。被测量作用于仪表比较装置，使比较装置的某种参数按已知关系随被测量发生变化，由于这种变化关系已在仪表上直接刻度，故直接可由仪表刻度尺读出测量结果。例如，用玻璃管水银温度计测量温度时，可直接由水银柱高度读出温度值。

(2) 零值法（平衡法）。将被测量与一个已知量进行比较，当二者达到平衡时，仪表平衡指示器指零，这时已知量就是被测量值。例如，用天平测量物体的质量，用电位差计测量电势都是采用了零值法。

(3) 微差法。当被测量尚未完全与已知量相平衡时，读取它们之间的差值，由已知量和差值可求出被测量值。用不平衡电桥测量电阻就是用微差法测量的例子。零值法和微差法测量对减小测量系统的误差很有利，因此测量精确度高，采用较为广泛。

根据仪表是否与被测对象接触，测量可分为：

(1) 接触测量法。仪表的一部分与被测对象相接触，受到被测对象的作用才能得出测量结果的测量方法。例如用玻璃管水银温度计测温度时，温度计的温包应该置于被测介质之中，以感受温度的高低。